

*Ростовский государственный строи-
тельный университет*

*Член-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. Л. Р. Маилян,*

Канд. техн. наук А. Л. Маилян,

Инженер Э.С. Айвазян

Россия, г. Ростов-на-Дону, тел.:

+7(918)555-64-10;

e-mail: lrn@aanet.ru

*Rostov-on-Don State Construction Uni-
versity*

*Corresponding Member of the RAASN,
Dr. of tech. sciences, prof.*

L. R. Mailyan,

PhD. of tech. sciences A. L. Mailyan,

Engineer E.S. Aivazyan

*Russia, Rostov-on-Don, tel.: +7(918)555-
64-10;*

e-mail: lrn@aanet.ru

Л.Р. Маилян, А.Л. Маилян, Э.С. Айвазян

**КОНВЕЙЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФИБРОБЕТОНА
С АГРЕГИРОВАННЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ФИБР
И ЕГО КОНСТРУКТИВНЫЕ СВОЙСТВА**

**CONVEYOR TECHNOLOGY OF FIBERSFOAM CONCRETE
WITH AGREGATING FIBERS
AND RESEACH ITS PROPERTIES**

Постановка задачи. Одной из важнейших технологических задач является получение фибробетонов с равномерным (агрегированным) распределением волокон по объему бетона, от чего существенно зависят конструктивные и эксплуатационные свойства фибробетонов.

Результаты. Предложена конвейерная технология приготовления фибробетона с агрегированным распределением волокон, исследовано изменение его конструктивных свойств, разработаны расчетные рекомендации по оценке его прочностных и

деформативных характеристик и диаграмм деформирования при сжатии и растяжении.

Выводы. Данные экспериментальных исследований позволяют сделать вывод о положительном влиянии предложенной технологии на свойства и характеристики фибробетонов с агрегированным распределением волокон.

Ключевые слова: фибробетон с агрегированным распределением волокон, прочностные и деформативные характеристики, диаграммы деформирования..

Введение. Одной из основных проблем фибробетона и фиброжелезобетона является создание равномерного (агрегированного) распределения волокон по длине или объему элемента.

Эту проблему, чаще всего без особого успеха, пытаются решить с помощью раздельных технологий перемешивания различных компонентов фибробетона в бетоносмесителях или с применением специальных их видов.

Ниже предлагается конвейерная технология создания фибробетона с агрегированным распределением волокон, исследуются его прочностные и деформативные характеристики и диаграммы деформирования «напряжения-деформации» при сжатии и растяжении, а также даются рекомендации по их расчетной оценке как основных параметров, используемых для расчета и проектирования строительных конструкций.

1. Конвейерная технология основана на переносе на производство строительных элементов принципа движущегося объекта изготовления и неподвижного оборудования для его изготовления.

Здесь возможны два варианта – с непрерывным и прерывистым движением конвейера.

Первый вариант - опалубка элемента *непрерывно* движется по конвейеру вдоль нескольких неподвижных постов с оборудованием, установленным по обе стороны от линии движения.

- с одной стороны – с подающей бетон трубой бетононасоса,
- с другой стороны – с подающим фибры раструбом дозатором волокон

На каждом посту происходит дозированное заполнение опалубки слоями бетона и фибр.

Второй вариант – опалубка движется по конвейеру *прерывисто*, то есть с краткосрочными ее остановками на постах с оборудованием, установленным по обе стороны от линии движения.

В конвейерной технологии возможно также однонаправленное движение, при котором опалубка заполняется за одну проходку, и разнонаправленное (челночное) движение, при котором опалубка заполняется за несколько проходов.

Конвейерная технология имеют следующие основные отличительные особенности:

- базируется на принципе «подвижная опалубка – неподвижное оборудование»;
- использует смешивание бетона и фибр не в смесителе, а непосредственно в опалубке;

- основана на послойном бетонировании,

и позволяет получать фибробетонные и фиброжелезобетонные элементы с равномерным (агрегированным) распределением волокон.

2. Исследования конструктивных свойств и диаграмм деформирования фибробетонов, приготовленных по конвейерной технологии с агрегированным распределением волокон были проведены для проверки эффективности предлагаемой технологии и включали испытания на осевое сжатие и растяжение 72 опытных образцов из фибробетона, изготовленных по обычной и предлагаемой технологиям.

В опытах варьировались:

- технология приготовления фибробетона – обычная и конвейерная в четырех режимах (однонаправленного движения - последовательного (режим 1-1) и одновременного (режим 1-2) наполнения и разнонаправленного движения – последовательного (режим 2-1) и одновременного (режим 2-2) наполнения);

- вид НДС – осевое сжатие и осевое растяжение;

- вид образцов – призмы 10×10×40см и восьмерки 10×10×70см;

- возраст бетона – 7, 28, 90 и 365 суток;

– режим испытаний – с постоянной скоростью нагружения и с постоянной скоростью деформирования.

В качестве исходных материалов принимались бетон обычный тяжелый, плотностью 2500кг/м^3 класса В 30 и стальные волокна, с процентом фибрового армирования 4%.

Испытания опытных образцов проводили в возрасте 7, 28, 90 и 365 суток, дублируя их – с постоянной скоростью нагружения и с постоянной скоростью деформирования. При этом использовалось как тензометрическое, так и осциллографическое оборудование, позволившее получить не только прочностные и деформативные характеристики фибробетона, но и его полные диаграммы деформирования «напряжения-деформации» при сжатии и растяжении.

Перемещения опалубок осуществлялись непрерывно по направляющим с помощью горизонтальных лебедочных механизмов. Неподвижные же посты с подающими бетон трубами бетононасоса и с подающими фибры раструбами дозаторов волокон были установлены по разные стороны от опалубок опытных образцов.

Образцы каждой из серий бетонировались одновременно.

Опалубка перемещалась со скоростью, равной примерно 0,2м/сек.

Скорости расхода бетона и фибр для большей равномерности распределения (агрегирования) волокон были подобраны таким образом, чтобы при проходке опалубкой одного поста заполнялось не более ее 1/8 высоты. Другими словами, полное заполнение опалубки обеспечивалось за 1 проходку 4 постов подачи бетона и 4 постов подачи фибр – при однонаправленном движении или за 4 проходки 1 поста подачи бетона и 1 поста подачи фибр – при разнонаправленном движении.

Анализ результатов исследований выявил следующие особенности.

Прочность на сжатие (примером являются таблицы 1, 2) в возрасте 7 суток у фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии по всем режимам 1-1, 1-2, 2-1 и 2-2, была выше, чем у фибробетонов, изготовленных по обычной технологии, – на 6,3; 6,5; 6,4 и 6,5% соответственно. К 28 суткам эта разница составила соответственно 9,7; 9,9; 9,6 и 10,0%, к 90 суткам – 10,5; 10,7; 10,4 и 10,8% соответственно и на 365 сутки – 12,1; 12,4; 11,9 и 12,2% соответственно.

Прочность на растяжение (примером являются таблицы 1, 2) демонстриро-

вала те же тенденции – здесь в возрасте 7 суток отклонения составляли 9,3; 9,7; 9,5 и 9,9% %, 28 суток - 13,2; 12,8; 13,1 и 13,3%, к 90 суткам – 15,1; 15,4; 15,4 и 15,8% соответственно и на 365 сутки – 17,4; 17,8; 18,0 и 17,6% соответственно.

Таблица 1

Прочность фибробетона при различных технологиях изготовления
на осевое сжатие и осевое растяжение

Технология изготовления фибробетона	Средняя прочность, МПа, в возрасте, сут.							
	7		28		90		365	
	R_b	R_{bt}	R_b	R_{bt}	R_b	R_{bt}	R_b	R_{bt}
Обычная	14,2	1,2	27,1	2,8	29,8	3,0	30,7	3,4
Конвейерная:								
режим 1-1	15,09	1,31	29,73	3,17	32,93	3,45	34,41	3,99
режим 1-2	15,12	1,32	29,78	3,16	33,00	3,46	34,51	4,00
режим 2-1	15,10	1,315	29,70	3,17	32,90	3,46	34,35	4,01
режим 2-2	15,12	1,32	29,81	3,17	33,02	3,47	34,44	4,00

Таблица 2

Отклонения прочности на осевое сжатие (числитель)
и осевое растяжение (знаменатель)
фибробетонов по конвейерной технологии
от фибробетонов по обычной технологии,

Режимы конвейерной технологии фибробетона	Отклонения прочности, %, в возрасте, сут.			
	7	28	90	365
режим 1-1	<u>6,3</u>	<u>9,7</u>	<u>10,5</u>	<u>12,1</u>
	9,3	13,2	15,1	17,4
режим 1-2	<u>6,5</u>	<u>9,9</u>	<u>10,7</u>	<u>12,4</u>
	9,7	12,8	15,4	17,8
режим 2-1	<u>6,4</u>	<u>9,6</u>	<u>10,4</u>	<u>11,9</u>

	9,5	13,1	15,4	18,0
режим 2-2	<u>6,5</u>	<u>10,0</u>	<u>10,8</u>	<u>12,2</u>
	9,9	13,3	15,8	17,6

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы.

1 – причиной повышения прочности на осевое сжатие и растяжение фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии по сравнению с изготовленными по обычной технологии в любом возрасте являлось равномерное (агрегированное) распределение волокон по сечениям, позволяющее, во-первых – сделать кластерообразование в таких фибробетонах более равномерным, а во-вторых – более полно использовать прочностные качества фибр.

2 – величина повышения прочности фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии по сравнению с изготовленными по обычной технологии, находилась примерно в одних и тех же пределах практически независимо от режима конвейерной технологии.

3 - превышение прочности фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии над изготовленными по обычной технологии, растет с увеличением возраста бетона вплоть до 365 суток при любом режиме конвейерной технологии, что объясняется упорядочением продолжающихся процессов гидратации в цементном камне в течение всего этого периода.

4 – относительное превышение прочности фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии над изготовленными по обычной технологии, примерно в полтора раза больше при осевом растяжении, чем при осевом сжатии, что можно принимать и в расчетных рекомендациях.

Предельные деформации (соответствующие максимальной прочности) фибробетонов как при осевом сжатии, так и при осевом растяжении демонстрировали обратную картину – у фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии, по сравнению с изготовленными по обычной технологии, они снижались, причем во все контрольные сроки твердения.

Так, при 7 сутках предельные деформации при осевом сжатии ε_{bR} у фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии они были меньше, чем у изготов-

ленных по обычной технологии – на 7,9...9,5%. К 28 суткам эта разница составила 10,5...12,7 %, к 90 суткам – 12,0...14,3% и на 365 сутки – 14,5...15,2% соответственно, причем независимо от режима конвейерной технологии.

Указанные тенденции характерны и для предельных деформаций и при осевом растяжении ε_{btR} у фибробетонов, изготовленных по конвейерной и обычной технологиям.

Начальный модуль упругости при сжатии E_b и растяжении E_{bt} у фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии практически при всех ее режимах и во все сроки твердения был одинаков и до 9,8...10,5% выше, чем у фибробетонов, изготовленных по обычной технологии.

Повышение начального модуля упругости объяснялось повышением прочности и уменьшением предельных деформаций фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии по сравнению с теми же характеристиками фибробетонов, изготовленных по обычной технологии, что смещало вверх и влево максимум на диаграмме «напряжения-деформации».

Диаграммы деформирования «напряжения-деформации» – для них при сжатии и при растяжении фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии по сравнению с фибробетонами по обычной технологии, принятых за эталонные, при всех сроках твердения характерны уже упомянутые выше особенности: максимум смещается вверх и влево; угол подъема в начале координат растет; увеличивается подъемистость диаграммы в восходящей ветви.

Ранее [2], нами были даны предложения по аналитическому описанию коэффициентов изменения прочностных и деформативных характеристик фибробетонов изготовленных по конвейерной технологии и зависимости от возраста бетона.

В целом же очевидно, что при изготовлении по конвейерной технологии независимо от ее режима становится возможным получение фибробетонов улучшенной структуры и с более высокими физико-механическими характеристиками.

5. Выводы

1. Проведенные экспериментальные исследования фибробетонов класса В 30, изготовленных по предложенной конвейерной технологии, выявили, что они имеют лучшие конструктивные характеристики по сравнению с фибробетонами, изготовленными по обычной технологии.

2. Установлено, что у фибробетонов класса В 30, изготовленных по конвейерной технологии, в возрасте 28 суток – увеличивается прочность на осевое сжатие – до 10,1% ; прочность на осевое растяжение – до 11,1%; модуль упругости – до 12,9%; уменьшаются предельные деформации – до 12,8%.

3. Выявлено, что изменение характеристик фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии, продолжается и стабилизируется к возрасту 365 сут.

4. Выявлено изменение диаграмм деформирования «напряжения-деформации» фибробетонов, изготовленных по конвейерной технологии, в возрасте 7,28,90,365 суток при осевом сжатии и растяжении.

Литература

1. Маилян, Л.Р., Налимова, А.В., Маилян, А.Л., Айвазян, Э.С. Челночная технология изготовления фибробетона с агрегированным распределением фибр и его конструктивные свойства. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2011, №4.- Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/714> (доступ свободный)- Загл. с экрана.- Яз. рус.

2. Маилян, Л.Р., Маилян А.Л., Айвазян Э.С. Расчетная оценка прочностных и деформативных характеристик и диаграмм деформирования фибробетонов с агрегированным распределением волокон. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №2.- Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1760> (доступ свободный)- Загл. с экрана.- Яз. рус.

3. Кодекс-образец ЕКБ – ФИП для норм железобетонных конструкций. [Текст] / Пер. с фр. Л.В. Еленской; под ред. А.А Гвоздева. – М.: НИИЖБ, 1984. – 284 с.

4. Маилян, Л.Р., Маилян, А.Л., Макарычев, К.В., Конструктивные пено- и фибропенобетоны на воде с пониженной температурой затворения. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 1.- Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/736> (доступ свободный) - Загл. с экрана.- Яз. рус.

5. Арончик, В. Б. Исследование работы армирующего волокна в фибробетоне [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук / В. Б. Арончик. – Рига, 1983. – 22 с.

6. Берг, О. Я. Высокопрочный бетон [Текст]: О. Я. Берг, Е. Н. Щербаков, Г. Н. Писанко. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1971. – 208 с.

7. Кравинскис, В.К [и др.] Взаимосвязь ориентации фибр и прочности на сжатие сталефибробетона [Текст]: // Проектирование и оптимизация конструкций инженерных сооружений. – Рига: РПИ, 1980. – С. 38 - 43.

8. Ермилов, Ю. И. Тонкостенные сталефибробетонные конструкции в гражданском строительстве [Текст]: Ю. И. Ермилов. – М., 1987. – 55 с. – (Серия: Конструкции жилых и общественных зданий. Технология индустриального домостроения: обзор. информ./ЦНТИ по гражд. стр-ву и архитектуре; вып. 10).

9. Лобанов, И.А. Технологические приёмы улучшения прочностных характеристик фибробетона. / И. А. Лобанов, А.В. Копацкий, К.В. Талантова // Дисперсно-армированные бетоны и конструкции из них: докл республ. совещ., ЛатИНТИ, Рига, - 1975. - С.19-25.

10. Михеев, Н.М. //Заводская технология приготовления сталефибробетонной смеси [Текст]: / Н.М.Михеев, К.В. Талантова //Научные труды железобетонщиков Сибири и Урала. Новосибирск, 1999. Вып.5 С.15-17.

11. Wooldridge, J. F. Reinforced Refractory Fibers Prove Their Value / J. F. Wooldridge // Brick and Clay Record. – 1978. – Vol. 173, № 4. – P. 36 – 39.

12. 386.Working with steel fiber reinforced concrete // Concrete Construction. – 1985. –Vol. 30. – P. 5 -10.

13. Properties of fibre reinforced concrete for rigid pavement / T. F. Fwa, P. Paramasivam // Proc. Int. Symp. Fibre Reinforced Concr., Madras, Dec. 16-19, 1987: ISFRC-87. Vol. 2. – Rotterdam, 1987. – P. 5.17 - 5.27.